

Научная статья

УДК 669.24'71:548.4:539.374

## СКОРОСТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ СТАЛИ 316L, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ 3D-ПЕЧАТИ

**Анастасия Андреевна Котельникова<sup>1</sup>, Юлия Николаевна Коэмец<sup>2</sup>,  
Наталья Васильевна Казанцева<sup>3</sup>, Сергей Викторович Афанасьев<sup>4</sup>,  
Игорь Владимирович Ежов<sup>5</sup>, Денис Игоревич Давыдов<sup>6</sup>,  
Ольга Аркадьевна Коэмец<sup>7</sup>**

<sup>2,3,4,5,6</sup> Институт физики металлов имени М. Н. Михеева УрО РАН,  
Екатеринбург, Россия

<sup>3,5,6</sup> Уральский государственный университет путей сообщения,  
Екатеринбург, Россия

<sup>1,7</sup> Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> *y.koemets@imp.uran.ru*

**Аннотация.** Влияние скорости деформации на механические свойства пористых образцов из стали 316L, полученных лазерной 3D-печатью, было исследовано при комнатной температуре с помощью испытаний на растяжение и фрактографию. Обнаружено аномальное увеличение относительного удлинения и предела прочности при увеличении скорости растяжения. В зоне разрушения наблюдали двойники деформации.

**Ключевые слова:** 3D-печать, 316L, деформационное двойникование, зависимость механических свойств от скорости деформации

**Финансирование:** работа выполнена в рамках государственного задания (тема «Диагностика», № AAAA–A18–118020690196–3).

Original article

## SPEED DEPENDENCES OF MECHANICAL PROPERTIES IN 316L STEEL SAMPLES, MANUFACTURED BY 3D-LASER PRINTING

**Anastasia Andreevna Kotelnikova<sup>1</sup>, Yulia Nikolaevna Koemets<sup>2</sup>,  
Natalia Vasilyevna Kazantseva<sup>3</sup>, Sergey Viktorovich Afanasyev<sup>4</sup>,  
Igor Vladimirovich Yezhov<sup>5</sup>, Denis Igorevich Davydov<sup>6</sup>, Olga Arkadyevna Koemets<sup>7</sup>**

<sup>2,3,4,5,6</sup> Institute of Metal Physics named after M. N. Mikheev Ural Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

<sup>3,5,6</sup> Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg, Russia

<sup>1,7</sup> Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

<sup>2</sup> *y.koemets@imp.uran.ru*

**Abstract.** The effect of strain rate on mechanical properties of 3D laser printed porous 316L steel samples was investigated by tensile test and scanning electron microscope fractography. The anomalous increase of elongation and ultimate stress with the tensile deformation rate was found. Deformation twins were observed in the destruction zone.

**Keywords:** 3D-printing, 316L, deformation twinning, strain rate dependence of mechanical properties

**Funding:** the work was carried out within the framework of the state task (the topic “Diagnostics”, № ААААА—А18—118020690196—3).

**А**ддитивные технологии в последние годы распространены в различных отраслях российского производства. Применение 3D-печати позволяет изготавливать деталь любой сложной геометрической формы, а также значительно снижать вес и стоимость готового изделия. Одним из наиболее распространенных дефектов в аддитивном производстве является пористость.

В докладе приведены результаты исследования скоростной зависимости механических свойств в пористых образцах аустенитной стали 316L (русский аналог 03Х17Н14М3), полученной методом селективного лазерного сплавления (СЛС). Была выполнена деформация образцов растяжением при комнатной температуре с различными скоростями: 0,6 мм/мин, 2 мм/мин, 8 мм/мин, 15 мм/мин. Структурный анализ был проведен с помощью растровой электронной микроскопии.

В структуре образцов стали 316L в исходном (СЛС) состоянии выявлено наличие двух типов пор: газовые и технологические. Технологические поры заполнены не проплавленными порошинками. После деформации образцов обнаружено, что разрушение происходит по технологическим порам, острые края которых служат конденсаторами напряжений.

Присутствие большого количества пор не влияет на характер излома пористого СЛС-образца. При скоростях нагружения от 0,6 мм/мин до 15 мм/мин СЛС-образцов стали 316L наблюдается вязкое разрушение, при этом пластичность образцов ниже в два раза по сравнению с литературными данными [1].

С увеличением скорости деформации увеличивается как пластичность, так и прочность СЛС-образцов, в микроструктуре наблюдается процесс развития двойников деформации.

Следовательно, постобработку пористых СЛС-образцов из аустенитной стали 316L можно проводить с большей скоростью. При этом деталь будет сохранять пластичность несколько ниже ГОСТа для стали 316L, но без повышения хрупкости.

Таким образом, обнаружена аномальная скоростная зависимость механических свойств СЛС-образцов из аустенитной стали 316L. В зоне разрушения наблюдаются двойники деформации, количество которых растет с увеличением скорости деформации. Показано, что повышенная пористость исходного СЛС-образца из аустенитной стали 316L снижает прочностные и пластические свойства материала, но не влияет на характер скоростной зависимости механических свойств.

#### **Источник**

1. Narayan R. Biomedical Materials. Springer. 2009. 569 p. ISBN 978-0-387-84872-3.